I.205
I.2006
11850



13/7/94

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

Facultad de Ciencias Agropecuarias

" Adecuación de Secuencia Metodólogica para estimar la Distribución Radicular de tres Leguminosas Forrajeras en un Suelo de Pucallpa "

Por Rolando Rime P.

T E S I S
PARA OPTAR EL TITULO DE :

Ingeniero Agrónomo

Pucallpa — Perú

REGION UCAYALI

1992

RECONOCIMIENTOS

La realización de este trabajo fue posible gracias a la invitación y apoyo del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)-Pucallpa. Fue particularmente decisivo el interés del Ing. Agr., Ph.D., Miguel A. Ara, Representante del CIAT-Pucallpa y Jefe del Proyecto Recuperación de Pasturas en Trópico Húmedo, quien asesoró el trabajo y revisó el manuscrito. Estoy en deuda con él. Igualmente, agradezco a Olga Z. Ríos, Ing. Agr., Profesora del Suelos, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Ucayali, por su asesoramiento y apoyo de este estudio.

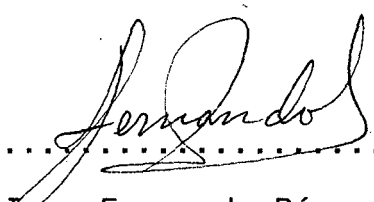
También agradezco a Julián Azañero, Ing. Agr., Asistente de Investigación del CIAT-Pucallpa, por su aliento y apoyo en el trabajo de campo, y a Lilian M. Martos, Ing. Agr., Profesora de Suelos, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Ucayali, por su estímulo en la realización de este estudio.

Al personal del convenio INIAA-IVITA-CIAT y del Programa de Pastos Tropicales del CIAT, que directa o indirectamente hicieron posible este trabajo.

Mi agradecimiento al Ministerio de Agricultura-Pucallpa, por hacer posible la publicación de este estudio. Fue decisivo el apoyo del Director de Agricultura, Ing. Olga Z. Ríos.

Finalmente, deseo expresar mi reconicimiento y mi gratitud a mis padres Antonio e Isabel, por alentarme y apoyarme en mi formación profesional. Igualmente a mis hermanos.

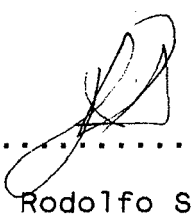
Esta tesis fue aprobada por el jurado calificador de tesis de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Ucayali.



.....

Ing. Fernando Pérez L.

Presidente



.....

Ing. Rodolfo Schaus A.

Secretario



.....

Ing. Gustavo Celi A.

Miembro

.....

Ing. Olga Z. Ríos

Asesor

INDICE

Pág.

CAPITULO I. Adecuación de Secuencia Metodólogica para Estimar la Longitud Radicular 1

INTRODUCCION 1

REVISION DE LITERATURA 3

Métodos para Examinar el Sistema Radicular 3
Métodos de Almacenamiento y Conservación 4
Método de Separación de Raíces del Suelo 5
Separación e Identificación de Raíces Contaminantes 6
Estimación de la Longitud Radicular 7

MATERIALES Y METODOS 10

Construcción y Características del Barreno 10
Muestreo y Conservación de los Cilindros de Suelo 10
Métodos de Separación de Raíces del Suelo 11
Identificación y Separación de Raíces Contaminantes 12
Estimación de la Longitud Radicular 13
Calibración del Método de Intersección Lineal 14

RESULTADOS Y DISCUSION 15

Muestreo y Conservación de los Cilindros de Suelo . 15
Separación de las Raíces del Suelo 16
Métodos de Identificación y Separación de Raíces Contaminantes 16
Calibración del Método de Intersección Lineal 19
Estimación de la Longitud Radicular 22

CONCLUSIONES 23

RECOMENDACIONES 24

RESUMEN 25

CAPITULO II. Longitud Radicular de Tres Leguminosas Forrajeras a Diferentes Edades y Bajo Diferentes Condiciones de Impedancia Mecánica en un suelo de Pucallpa..... 26

INTRODUCCION 26

Pág.

REVISION DE LITERATURA 28

Alargamiento Radicular en Diferentes Condiciones de Fertilidad del Suelo 28
Alargamiento Radicular en Relación a las Propiedades Físicas del Suelo 30
Mediciones de Impedancia Mecánica para el Alargamiento Radicular 31
Alargamiento Radicular en Diferentes Condiciones de Impedancia Mecánica del Suelo 32
Valores Críticos de Impedancia Mecánica en Relación al Crecimiento Radicular 33

MATERIALES Y METODOS 34

Localización del Estudio 34
Condiciones Climáticas y Edáficas 34
Desarrollo del Experimento 35
Tratamientos en Estudio 35
Variables de Respuesta 36
Longitud Radicular 36
Impedancia Mecánica 36
Análisis Estadístico 37

RESULTADOS Y DISCUSION 38

Longitud Radicular 38
Impedancia Mecánica 43

CONCLUSIONES 49

RESUMEN 50

BIBLIOGRAFIA 51

INDICE DE CUADROS

Pág.

Componentes de la Variabilidad de la Desviación Absoluta y Relativa en la Calibracion del Métodode Intersección Lineal 21

Características del Suelo del Area Experimental 35

Análisisde Varianza de la Longitud Radicular 42

Análisisde Varianza de la Impedancia Mecánica..... 47

INDICE DE FIGURAS

Pág.

Proporción de Raíces Muertas de Axonopus compressus a tres profundidades, en relación a los días después de la aplicación de 1.5 L ha^{-1} de Glyphosato 18

Relación entre la longitud estimada por el método de intersección y la longitud real correspondiente a secciones de hilo de algodón para tres dimensiones de cuadrículas..... 20

Distribución de la longitud de raíces de Stylosanthes guianensis a diferentes profundidades del suelo y a diferentes períodos después de la siembra para tres tratamientos 39

Distribución de la longitud de raíces de Centrosema macrocarpum a diferentes profundidades del suelo y a diferentes períodos después de la siembra para tres tratamientos 40

Distribución de la longitud de raíces de Arachis pintoi a diferentes profundidades del suelo y a diferentes períodos después de la siembra para tres tratamientos 41

Distribución de la impedancia mecánica del suelo en parcelas de S. guianensis a diferentes profundidades y a diferentes períodos después de la siembra para tratamientos arado y sin arar 44

Distribución de la impedancia mecánica del suelo en parcelas de C. macrocarpum a diferentes profundidades y a diferentes períodos después de la siembra para tratamientos arado y sin arar 45

Distribución de la impedancia mecánica del suelo en parcelas de A. pintoi a diferentes profundidades y a diferentes períodos después de la siembra para tratamientos arado y sin arar 46

CAPITULO I

ADECUACION DE SECUENCIA METODOLOGICA PARA ESTIMAR LA LONGITUD RADICULAR

INTRODUCCION

La investigación en muchas áreas de la agronomía se facilitaría con una metodología expeditiva para medir la longitud de raíces en un volumen conocido de suelo. La absorción de agua y nutrientes y, consecuentemente, el desarrollo de la planta, están más relacionados con la longitud o superficie total radicular que con su masa radicular (Reicosky et al., 1970). Desafortunadamente, la evaluación directa de la longitud radicular es lenta y laboriosa. Sin embargo, métodos indirectos, los cuales proporcionan una aproximación razonable, han sido desarrollados. De éstos, el método de Intersección Lineal (Newman, 1966) modificado por Marsh (1971) y Tennant (1975) parece ser el más conveniente para estimar la longitud radicular.

Normalmente la estimación de la longitud radicular implica la extracción de las muestras del suelo, separación de raíces del suelo, conservación y almacenamiento de las muestras, identificación de raíces contaminantes, y medición de la longitud de raíces (Schuurman y Goedewaagen, 1971; Ward et al., 1978). Tanto la extracción de las muestras como la separación de las raíces y del suelo son laboriosas y todas las mediciones tienden a tener un alto coeficiente de variación lo que obliga a maximizar el número de repeticiones.

Las raíces no se distribuyen uniformente en el suelo, más bien se concentran en las capas superiores. No obstante, el patrón de crecimiento radicular varía entre especies y con las condiciones de suelo. La profundidad de evaluación de las raíces dependerá del objeto de la investigación. Asi, para medir la biomasa radicular solamente puede considerarse las capas superiores del suelo ya que en las inferiores la biomasa es muy pequeña. Sin embargo si el objeto de la investigación es la profundidad de penetración o la resistencia a la sequía, puede ser necesario muestrear hasta profundidades donde ya no se observen raíces.

Con estos criterios en mente, los experimentos que se describen en este primer capítulo tuvieron como objetivo adecuar una secuencia metodológica expeditiva para estimar la longitud radicular.

REVISION DE LITERATURA

Uno de los procesos que regula el crecimiento de las plantas es la absorción de agua y nutrientes por el sistema radicular. Una mayor distribución de las raíces en el suelo permite explorar un mayor volumen de suelo aumentando la capacidad de de absorción de agua y nutrientes por las plantas. De esta manera pueden soportar mejor los periodos críticos de disponibilidad de agua y nutrientes. Por otro lado, las pasturas de raíces profundas y extensas tienden a disminuir las pérdidas de nutrientes por lixiviación y escorrentía y aumentan el reciclaje de nutrientes del subsuelo hacia la superficie (Cochrane, 1982). Consecuentemente, es importante conocer la distribución y longitud radicular. Para esto se requiere una metodología adecuada y precisa para describir cuantitativamente el crecimiento de las raíces y su actividad en el suelo.

Métodos para Examinar el Sistema Radicular

Existen varios métodos para examinar los sistemas radiculares, entre ellos tenemos el monolito, los rizotrones, el muestreo con barreno, y los radiotrazadores inyectados al suelo y a la planta (Schuurman y Goedewaagen, 1971; Kuruvadi y Townley-Smith, 1986). Estos métodos tienen ventajas y desventajas y sus aplicaciones dependen del objeto de la investigación.

El método de muestreo de cilindros de suelo con barreno es probablemente el más apropiado para examinar la distribución

vertical y lateral del sistema radicular. Este método es relativamente menos laborioso y más apropiado para usarlo en parcelas experimentales, facilitando el uso de repeticiones y el análisis estadístico de los resultados (Schuurman y Goedewaagen, 1971; Mengel y Barber, 1974). Este método consiste en extraer cilindros de suelo de volúmen conocido en una posición adyacente a la planta. El barreno es apropiado para mediciones de la distribución vertical de raíces en una pastura y es la técnica más común adoptada en estos estudios.

Schuurman y Goedewaagen (1971) describen un barreno muy conveniente para extraer los cilindros de suelo y revisan sus ventajas y desventajas y algunas modificaciones. Los barrenos muestreadores de cilindros de suelo pueden ser ayudados por dispositivos mecánicos, eléctricos y por comprensoras de aire. También pueden ser montados a un tractor. Esto depende de la disponibilidad de equipo, energía y del costo de la operación.

Métodos de Almacenamiento y Conservación

Cuando se extraen los cilindros de suelo en gran número es imposible procesarlos inmediatamente. Usualmente se recomienda el almacenamiento en una solución de formaldehído al 4% (Williams y Baker, 1957). Tal procedimiento puede ser prohibitivo en términos de costo y disponibilidad de formaldehído. Además, el almacenamiento en este reactivo puede alterar la integridad de las raíces y dificultar su posterior identificación o la diferenciación de raíces vivas y muertas. El congelamiento inmediato de los cilindros de suelo, después de ser extraídos (Shuurman y Goedewaagen, 1971;

Steen, 1989) parece funcionar razonablemente bien y es menos costoso.

Método de Separación de las Raíces del Suelo

Antes de hacer cualquier medición del sistema radicular se requiere separar las raíces del suelo. Las raíces pueden ser separadas después de la extracción de las muestras o éstas pueden ser congeladas antes de la separación. Usualmente se recomienda remojar los cilindros de suelo en una solución de pirofosfato de Na al 0.1%, por 24 (Schuurman y Goedewaagen, 1971) o por 4 horas (Mengel y Barber, 1974). También pueden usarse otros dispersantes tales como hexametafosfato de Na, hipoclorito de Na, peróxido de hidrógeno, o detergente común. Los inconvenientes son los mismos que para el formaldehído: costo, disponibilidad, e integridad de raíces. El almacenamiento a 0 ^{0}C o menos también ayuda a la dispersión de los agregados del suelo (Lehrsch et al., 1991).

La separación de las raíces por lavado puede ser ayudada por un pulverizador de agua con la finalidad de romper la estructura de las partículas de suelo. Por flotación de las raíces y por decantación de las partículas de suelo, aquéllas pueden ser separadas. También se lavan las raícescolocando la muestra sobre un tamiz para que la mayoría de suelo fino se pierda rápidamente. La materia orgánica y suelo retenidos por el tamiz son transferidos a un envase por decantación. La mayoría de los investigadores están de acuerdo en usar tamices con diámetros de abertura alrededor de 0.3 mm para evitar la

pérdida de raíces finas. Williams y Baker (1957) usaron una abertura de 0.25 mm. Se han usado también aberturas de 0.149 mm (Ward et al.,1978) y 1 mm (Steen, 1989).

Existen dispositivos para acelerar el proceso inicial del lavado tales como el de Williams y Baker (1957). Posteriormente los dispositivos se han sofisticado y existen diferentes variantes. Ward et al. (1978) utilizaron una técnica que denominaron "bolsa de raíz", la que consiste en una bolsa rectangular con una malla comparable a un tamiz de malla 100. Se coloca el cilindro de suelo dentro de la bolsa y los bordes de éstason amarrados con hilo quirúrgico. La "bolsa de raíz" es suspendida de un agitador accionado manualmente dentro de un envase de agua. Periódicamente se amasa la muestra y se ajusta. Este proceso puede durar hasta 15 minutos dependiendo de la textura del suelo y del tamaño de la muestra.

Separación e identificación de Raíces Contaminantes

Uno de los mayores problemas es la presencia de raíces de otras especies que no son de interés. La separación de raíces contaminantes basada en las características morfológicas puede ser tediosa, poco segura, e inefectiva cuando las raíces son del mismo tipo o familia.

En estudios de campo Ward et al.(1978) encontraron que al evaluar el sistema radicular de un cultivo, éste se mezclaba con raíces del cultivo anterior las cuales mantenían

suficiente integridad estructural para dar erróneamente altos valores de densidad radicular. Esto restringía seriamente las interpretaciones con respecto al desarrollo radicular en estudios de campo. Estos mismos autores, determinaron que muestras de cilindros de suelo pueden contener hasta cuatro veces más de longitud de raíces muertas que la longitud de raíces vivas de trigo. Para apresurar la separación exacta de las raíces vivas de raíces muertas, ellos desarrollaron una técnica de tinción diferencial. Tal técnica consiste en saturar la muestra durante tres minutos en una solución acuosa de Rojo Congo al 1%, enjuagando luego con agua. Las raíces son secadas desde abajo con una esponja, luego se saturan por tres minutos con etanol al 95% y se enjuagan otra vez con agua. Las raíces vivas se tiñen de rosado oscuro a rojo brillante, las raíces muertas y otros materiales orgánicos son desteñidas, rosadas claras o castañas. El Rojo Congo en realidad no separa raíces vivas de muertas, más bien parece fijarse en raíces que tienen el córtex intacto (Ward et al., 1978). Por diferencia de color puede identificarse visualmente raíces vivas de muertas.

Estimación de la Longitud Radicular (LR)

Dos tipos principales de estimación indirecta de la longitud radicular (LR) han sido propuestos: (i) estimación en base a la intersección de raíces con planos determinados en el suelo, y (ii) estimación en base a la intersección de raíces individuales con líneas distribuidas al azar (en un área determinada) o sistemáticamente.

El primer tipo de determinaciones consiste en extraer un cilindro de suelo conteniendo raíces, cortarlo a lo largo de tres planos perpendiculares entre sí, y contar el número de intersecciones de estos planos con las raíces (Melhuish y Lang, 1968). Asumiendo una proporcionalidad entre el número de intersecciones y de la LR, esta última puede ser estimada. Melhuish y Lang (1971) mejoraron este método automatizándoloy obteniendo distribuciones estadísticas. Una variación más simplificada consiste en cortar transversalmente los cilindros extraídos del suelo y contar las intersecciones visibles (Bohm, 1979). En general este método tiene limitaciones de precisión aun cuando se calibre para suelos o cultivos determinados (Bland, 1989). Su mayor ventaja es que no requiere separación de las raíces del suelo.

El segundo tipo de métodos se basan en la proposición de Newman (1966). Según este autor, existe una proporcionalidad entre el número de intersecciones de un grupo de raíces con un número de líneas de diferentes longitudes dispuestas al azar en un área determinada y la longitud radicular. A diferencia del tipo anterior, estos métodos requieren la separación de las raíces y del suelo a partir de cilindros extraídos, operación que puede ser laboriosa, en cambio éstosmétodos ofrecen la mayor precisión de todos los métodos indirectos.

Gran parte del tiempo requerido en la estimación de la LR por los métodos basados en la proposición de Newman es usado en la separación de las raíces del suelo, en la dispersión de

las raíces en forma uniforme en el área de evaluación, y en el conteo de intersecciones. Marsh (1971) propuso que el factor de proporcionalidad de Newman podía ser modificado si en vez de usarse líneas de diferentes longitudes dispuestas al azar se usaba una cuadrícula. Esta simplificación permitía prescindir de la distribución aleatorizada de raíces y hacía la determinación independiente del área de evaluación (Marsh, 1971). Tennant (1975) examinó la versatilidad de este método y lo encontró sumamente apropiado. Las modificaciones propuestas por Marsh (1971) permiten la determinación de la LR en 5 a 6 minutos por muestra y con una variación de 5% o menos.

MATERIALES Y METODOS

Construcción y características del barreno

El barreno usado en el muestreo ha sido construido en una metal-mecánica local según el diseño de Schuurman y Goedewaagen (1971). Consiste en un cilindro con diámetro interno de 8 cm y altura de 16.5 cm (Fig 1A, Anexo). El cilindro del barreno está fijado a un tubo de 3.5 cm de diámetro marcado a intervalos de 10 cm. El barreno tiene un manubrio fijado en la parte superior del tubo. La longitud del tubo es de 80 a 100 cm para sondear una profundidad de más de 100 cm. El tubo contiene en su interior una varilla de fierro de menor diámetro fijado al eje central de un disco en la base mediante la imposición de pernos y en la parte superior también tiene un manubrio. Dentro del cilindro hay un disco que funciona como un pistón al ser accionado el manubrio de la varrilla para liberar la muestra una vez extraída del perfil.

Muestreo y Conservación de los Cilindros de Suelo

El muestreo de los cilindros de suelo se realizó a 10 cm de distancia de plantas de Stylosanthes guianensis, Centrosema macrocarpum, y Arachis pintoi. El barreno se gira despacio y se presiona verticalmente hacia el suelo hasta la primera marca del intervalo. Durante la introducción el pistón es empujado hacia arriba por la muestra. Cuando el barreno alcanza la profundidad seleccionada es rotado varias veces para liberar la muestra. El hoyo es ligeramente ensanchado por el balanceo del barreno. Esto evita que el suelo y raíces

del hoyo se corten cuando se inserta el barreno para el siguiente intervalo de profundidad. Una vez extraída la muestra se voltea el barreno de abajo hacia arriba presionando el manubrio del pistón con el pie para liberar la muestra. El cilindro de suelo es colocado en una bolsa de polietileno rotulada. Por cada punto de muestreo se eligieron incrementos de 5 cm, hasta los 10 cm y posteriormente de 10 cm hasta una profundidad de 90-100 cm.

Los cilindros una vez extraídos se congelaron inmediatamente en una congeladora comercial (a 0 ^{0}C) hasta su procesamiento.

Método de Separación de Raíces del Suelo

Una ventaja adicional del congelamiento como método para preservar las raíces es que el descongelamiento rápido en agua tiene un efecto dispersante sobre el cilindro de suelo (Lehrsch et al., 1991). Esto hizo innecesario el uso de dispersantes químicos. Los cilindros de suelo congelados se remojaron con agua en un lavatorio plástico de 30 cm de diámetro. Una vez dispersados los agregados de suelo durante el remojo, se lavaron las raíces con un pulverizador de agua haciendo que el agua se agite rápidamente en el lavatorio, emulando un agitador. La suspensión resultante de suelo, raíces, y otros materiales orgánicos fue trasvasada hacia un tamiz de diámetro de abertura de 1 mm sobre otro lavatorio de las mismas dimensiones que el anterior. Las raíces y otros materiales orgánicos junto con arena o sedimentos gruesos son

retenidos en el tamiz. Las raíces son separadas de los sedimentos gruesos y la materia orgánica mediante flotación por un minuto. Las raíces flotantes se trasladan a un tamiz de diámetro de abertura de 0.3 mm. El procedimiento de flotación se repitió siete veces hasta que no se observaron raíces flotantes. Cuando fue necesario se hizo una separación manual usando pinzas. Finalmente se limpiaron las raíces contenidas en el tamiz de menor diámetro y se colocó en una bolsa de polietileno con agua para que no pierdan humedad. Estas muestras pueden conservarse en un congelador hasta la estimación de la LR.

Identificación y Separación de Raíces contaminantes

Existe dificultad para diferenciar las raíces de las especies en estudio, de las raíces de especies contaminantes. Para resolver este problema se usó una técnica de tinción diferencial (Ward et al., 1978). Se necesita que las raíces de especies contaminantes estén muertas y con cierto deterioro en la zona cortical. Esto se logró matando las raíces contaminantes en el campo previamente a la extracción de los cilindros. Debe existir un tiempo previo mínimo entre el momento en que se matan las raíces y el muestreo. Para determinar este tiempo mínimo se hizo un ensayo en el campo con microparcelas de 50 x 50 cm, con dos repeticiones en un una pastura nativa de Axonopus compressus (la fuente más importante de raíces contaminantes). Los tratamientos (6) consistieron en la aplicación de 1.5 L ha^{-1} de glyphosato (Round-up) con 3, 6, 9, 12, y 21 días de anterioridad, más un

testigo sin herbicida. Se extrajeron cilindros de suelo hasta 20 cm de profundidad en incrementos de 0 a 5, 5 a 10, y de 10 a 20 cm. Se tiñeron con Rojo Congo para diferenciar raíces vivas de muertas, se cuantificó la LR de ambas por el método de intersección lineal y se determinó la proporción de raíces muertas de A. compressus. El períodode anterioridad a partir del cual se estabilizó la proporción de raíces muertas se consideró como el tiempo previo mínimo entre la aplicación del herbicida y el muestreo de las raíces.

Estimación de la Longitud Radicular

Para estimar la longitud radicular se construyó una cubeta de vidrio tal como la describe Tennant (1975). La cubeta tiene 25 cm de ancho, 35 cm de largo y 3 cm de altura. El área de la cubeta sirve para colocar las muestras de raíces con una lámina delgada de agua y distribuirlas uniformente. Debajo de la cubeta se colocó un sistema de cuadrícula de dimensión conocida, dibujada con tinta china en el reverso de un papel milimétrico y forrada con plástico transparente.

La dimensión de cuadrícula se eligió según las recomendaciones de Tennant (1975). Este autor encontró que el tamaño de cuadrícula requerida varía con con la longitud de la muestra: 1x1 cm fue conveniente para longitudes entre 65 a 700 cm, 2x2 cm para longitudes entre 275 y 1100 cm, y 3x3 cm para longitudes iguales o mayores de 600 cm. Para el conteo de interceptos Tennant logró mejores resultados al registrar un conteo cuando una raíz o una porción curva de ella tocaba una

línea. Pero cuando una raíz se mantenía a lo largo sobre una línea, él registró dos conteos. De este modo se contaron los interceptos de las líneas horizontales y verticales de la cuadrícula. Todos los conteos fueron acumulados en un contómetro manual. El conteo de la muestra fue convertido para obtener la longitud radicular según la fórmula de Tennant (1975):

$$LR = N \times F \qquad (1)$$

donde LR es la longitud radicular de la muestra, N el número de interceptos y F el factor de conversión de la longitud en cm. Este último (F) para las dimensiones de cuadrículas de 1x1, 2x2, y 3x3 cm es de 0.7857, 1.5714, y 2.3571, respectivamente (Tennant, 1975).

Calibración del Método de Intersección Lineal

La calibración del método se realizó en forma similar a Reicosky et al. (1970) y Tennant (1975). Se estimó la longitud de un número de segmentos de hilo de algodón de 5 cm. Estos segmentos tenían longitudes totales conocidas de 25, 50, 75, 100, y 150 cm. Estas estimaciones se hicieron usando cuadrículas de tres dimensiones: 1x1, 2x2, y 3x3 cm. Asumiendo que los segmentos de hilo se comportan igual que las raíces durante la distribución en la cubeta, se ajustaron las longitudes estimadas contra las longitudes reales a una línea recta. El grado de ajuste expresa la sensibilidad del método.

RESULTADOS Y DISCUSION

Para determinar indirectamente la longitud radicular de la especie en estudio debe seguirse una secuencia metodólogica de acuerdo al objeto de la investigación y a los recursos económicos y logísticos. Esta secuencia debe incluir el método de muestreo de los cilindros de suelo, método de conservación y almacenamiento, método de separación de las raíces del suelo, método de identificación de raíces contaminantes, y método de medicición de la LR.

Muestreo y Conservación de los Cilindros de Suelo

Para el muestreo de los cilindros de suelo puede usarse el barreno según el diseño de Schuurman y Goedewaagen (1971). Tiene sus ventajas y desventajas. Este barreno es de fácil construcción y es económico (costo local US $ 75). Después de una prueba inicial se alargó 70% más el manubrio para hacer más palanca, se hizo dos huecos en la parte superior del cilindro del barreno para permitir la salida del aire que hacía presión dentro del cilindro y se aserró el borde inferior para que sea más cortante.

Durante el muestreo hubo algunas dificultades. Cuando el suelo es húmedo las arcillas se adhieren en la pared interna del cilindro del barreno, asi mismo es difícil liberar la muestra del cilindro una vez extraída. Schuurman y Goedewaagen (1971) describen una aplicación especial del barreno para suelos húmedos. Cuando el suelo está seco hay mayor resistencia al corte y se requiere más presión, cuando

el suelo presenta fuerte resistencia a veces es necesario extraer la muestra en dos secciones. Para liberar la muestra del cilindro puede usarse una comba de madera dura o de caucho, golpeando en la parte externa del cilindro del barreno ayuda a liberarlo. El muestreo parece ser mejor cuando el suelo está en su capacidad de campo.

Los cilindros de suelo una vez extraídos se congelaron inmediatamente hasta su procesamiento. Existe un efecto dispersante en las partículas de suelo durante el remojo de las muestras congeladas, esto evita el uso de preservantes y dispersantes los cuales pueden alterar la integridad de las raíces dificultando su posterior identificación y separación.

Separación de las Raíces del Suelo

La técnica para lavar las raíces del suelo ha variado entre investigadores dependiendo del tipo de suelo, el objeto de la investigación y la laboriosidad del investigador. En todos los métodos la eficiencia con que son separadas las raíces y el grado de contaminación depende mucho de la separación manual que se realiza en el proceso final del lavado y para el cual puede usarse pinzas.

Método de Identificación y Separacion de Raíces contaminantes

Este método comprende la aplicación del herbicida a la especie contaminante y la tinción diferencial para diferenciar raíces vivas de muertas. Se encontró que durante el conteo de interceptos hay algunos problemas para diferenciar la

intensidad de color. En general las raíces muertas de A. compressus estaban desteñidas o tiñeron de rosado claro, las raíces vivas de esta especie tiñeron de rosado. Por ejemplo las leguminosas S. guianensis y A. pintoi tiñeron caoba rojizo. Para hacer más eficiente la diferenciación de raíces muertas de A. compressus (especie contaminante) se combinó con una diferenciación morfológica. Ward et al. (1978) encontraron que muchas raíces de monocotiledóneastiñeron más intensamente que las dicotiledóneas,sugiriendo que éstopodría facilitar estudios de competición radicular entre ellas. En este trabajo se encontró que las dicotiledoneas tales como C. macrocarpum tiñeron más intensamente que A. compressus (monocotiledónea).

La técnica de tinción diferencial funciona razonablemente bien cuando las raíces están vivas y la corteza de la raíz está intacta (Ward et al.,1978). Sin embargo el éxito de la técnica parece depender también del color de la epidermis, cuando éstaes transparente la tinción es característica. Cuando la epidermis es oscura dificulta ver el teñido. Esto sucedió con especies de S. guianensis y A. pintoi donde la visualización exacta del teñido fue bloqueada por el color de la epidermis. Por lo tanto la identificación exacta de raíces vivas de muertas depende de la especie en estudio, indicando que debe calibrarse consistentemente.

La proporción de raíces muertas de A. compressus se incrementó significativamente ($p<0.0001$) con el tiempo

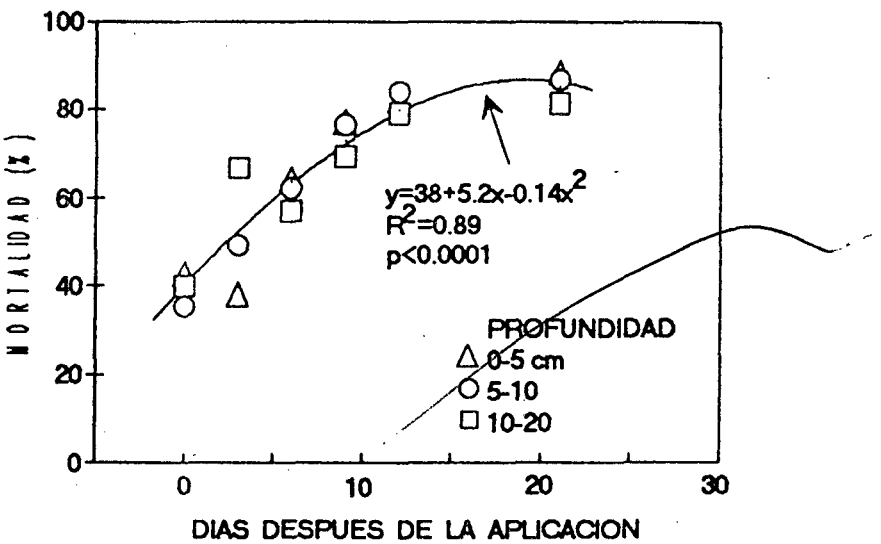


Fig. 1. Proporcion de raices muertas de Axonopus compressus a tres diferentes profundidades, en relacion a los dias despues de la aplicacion de 1.5 l/ha de glyphosato. Promedio de 2 repeticiones.

transcurrido (Anexo 2). La ecuación de regresión estimada $y=38.024+5.165x-0.137x^2$ es expresada gráficamente en la Fig. 1 y muestra que la proporción de raíces muertas tiende a estabilizarse a partir de los 17 días, el punto de inflexión a los 19 días corresponde a una mortalidad de 87%. Por lo tanto, para cuantificar la LR de la especie en estudio donde la fuente contaminate es A. compressus debe aplicarse glyphosato tres semanas antes del muestreo de los cilindros de suelo. Matar las plantas que originan raíces contaminantes en el campo previamente al muestreo de las raíces de las plantas de interés es un buen método para de detectar raíces contaminantes.

Calibración de Método de Intersección Lineal

En términos generales hubo una estrecha correlación ($R^2=0.994$) entre las longitudes reales de los hilos de algodón y las longitudes estimadas por el método de intersección lineal. El ajuste de la regresión, asumiendo valor cero para el intercepto, rindió una línea del tipo LR=0.952LE (Fig. 2), donde LR=longitud real y LE=longitud estimada. El ajuste lineal fue independiente de las dimensiones de las cuadrículas usadas, i.e. las tres líneas fueron practicamente las mismas (según la prueba de t la pendiente $b_{1x1}=b_{2x2}=b_{3x3}$ ya que $|t_c| < 2.056$). De acuerdo a estos resultados pueden usarse indistintamente cuadrículas de 1x1, 2x2, y 3x3 cm en el conteo de interceptos. Sin embargo, Tennant (1975) recomendó unas relaciones entre el tamaño de las cuadrículas y la probable longitud de las raíces por estimar.

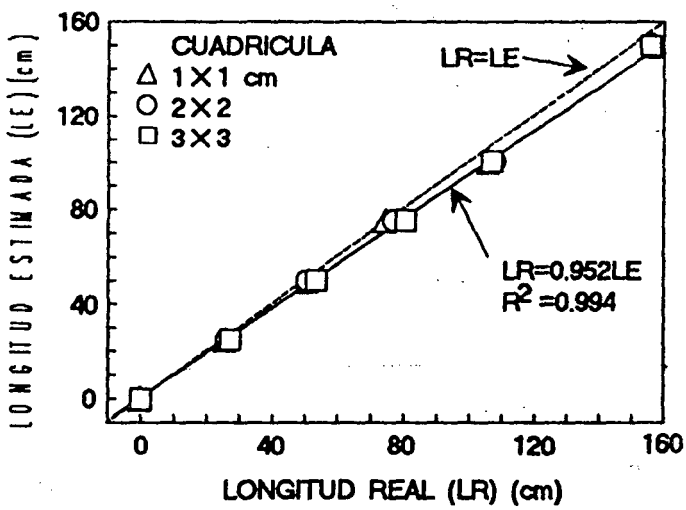


Fig. 2 . Relacion entre la longitud estimada por el metodo de interseccion y la longitud real correspondiente a secciones de hilo de algodon para 3 dimensiones de cuadriculas. Se muestran la linea de regresion para la estimacion y la linea ideal de determinacion (LR=LE). Promedio de 3 repeticiones.

De acuerdo a los resultados y a la línea de regresión hubo un ligero grado de sobreestimación absoluta de la longitud de los hilos de algodón (6%). El Cuadro 1 muestra el análisis de varianza de la sobreestimación absoluta y relativa afectada por la longitud real del hilo y el tamaño de cuadrículas. En términos generales la sobreestimación absoluta fue independiente del tamaño de cuadrícula pero fue afectada progresivamente por la longitud del hilo ($p<0.003$). No hubo interacción entre el tamaño de cuadrícula por longitud real en esta sobreestimación. Por otro lado, ni el tamaño de cuadrícula ($p<0.42$) ni la longitud real ($p<0.74$) tuvieron un efecto en la desviación relativa.

La estimación de la longitud radicular mediante el conteo de intersecciones con una cuadrícula de líneas puede tener sesgos consistentes. La mayoría de estos sesgos son problemas del operador: fatiga, distribución imperfecta de raíces en el área de evaluación, subestimación o sobreestimación de los puntos de contacto (Newman, 1966; Reicosky et al.,1970; Tennant, 1975). Estos efectos hacen necesaria la calibración del método.

Cuadro 1. Componentes de la variabilidad de la desviación absoluta y relativa de la longitud estimada vs. la longitud real de hilos de algodón.

FV	GL	Absoluta Pr > F	Relativa
Cuadrícula	2	0.300	0.420
Longitud	4	0.003	0.749
Cuadrícula*Long.	8	0.845	0.910

Reicosky et al. (1970) calibraron el método de intersección lineal comparándolos con el método directo utilizando longitudes conocidas de hilo de algodón. Ellos también ajustaron las longitudes estimadas vs. las reales a una línea recta. Al igual que en nuestro caso hubo una tendencia a sobreestimar la longitud. La desviación estándar no mostró una tendencia definida con el incremento de la longitud del hilo pero el coeficiente de variación mostró una tendencia a disminuir. Tennant (1975) también calibró el método en forma similar encontrando una relación altamente significativa ($p<0.001$) entre las longitudes estimadas vs. las reales. En contraste con Reicosky et al. (1970), él encontró una tendencia a la subestimación la cual aumentaba con el incremento de la longitud del hilo.

Estimación de la Longitud Radicular

El conteo de interceptos de las raíces con las líneas verticales y horizontales de la cuadrícula se realizó según Newman (1966), Reicossky et al. (1970), Marsh (1971) y Tennant (1975). Este último autor recomendó el uso de un tamaño de cuadrícula para un rango de longitudes a estimar y el registro de uno o dos conteos en la lectura de interceptos. Para un mejor conteo es necesario una separación manual con pinzas de las raíces contaminantes y otros residuos orgánicos que están en la cubeta sobre todo en muestras provenientes de la capa superior del suelo. Además si la muestra es grande debe subdividirse en dos o tres partes para un mejor conteo, esto evita la superposición de raíces y la fatiga del operador.

El método de intersección lineal de Newman (1966) modificado según Marsh (1971) y Tennant (1975) permite estimar la LR. Este método tiene una precisión razonable probada al ser comparada con el método directo (Reicosky et al., 1970), además esto se desprende de la calibración del método, al existir una alta asociación (R^2=0.994) entre longitudes estimadas y longitudes reales. En el ensayo de campo sobre mortalidad de raíces de A. compressus por aplicación de glyphosato en relación a los días de aplicación, el método nos permitió evaluar el efecto de los tratamientos en términos de longitud de raíces vivas y muertas. Posteriormente, mediante el método de intersección lineal se estudiaron los efectos de tres tratamientos en la LR de tres leguminosas forrajeras y se detectó diferencias entre ellas de acuerdo a los resultados del Capítulo 2.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados de estos experimentos se ha encontrado que: (1) Se puede contar con una secuencia metodológica expeditiva para estimar la LR de especies forrajeras. Esta secuencia incluye métodos para la extracción de las muestras, para la separación de las raíces del suelo, para el almacenamiento y conservación de muestras, para la identificación y separación de raíces contaminantes, y para la medición de la LR. (2) Una aplicación de 1.5 L ha^{-1} de glyphosato debe ser hecha tres semanas antes del muestreo de los cilindros de suelo, para matar las raíces contaminantes de

A. compressus. (3) La técnica de tinción diferencial (Ward et al.,1978) permite la identificación de raíces vivas de raíces muertas. Tal técnica puede ser apoyada por diferencias morfológicas de las raíces. (4) El método de intersección lineal tiene un nivel satisfactorio de precisión y un mínimo de sobreestimación (6%).

RECOMENDACIONES

Para evaluaciones extensivas y rutinarias examinar la separación semi-automatizada (elutriación) de raíces y suelo, y la determinación de la longitud radicular por análisis de imágenes.

RESUMEN

Se necesitan métodos para medir la longitud radicular (LR) en un volumen conocido de suelo. La LR es un parámetro que está relacionado a la absorción de agua y nutrientes por las plantas y al rendimiento de éstas. Se realizó varios experimentos para adecuar una secuencia metodológica para estimar la LR. Se encontró que se puede contar con una metodología expeditiva para estimar la LR. Esta secuencia incluye métodos para la extracción de las muestras con un barreno, la separación de raíces del suelo por lavado y flotación de raíces, la conservación de muestras por congelamiento, la identificación de raíces contaminantes por tinción diferencial con Rojo Congo para separar raíces vivas de muertas, y la estimación de la LR por el método intersección lineal. Una aplicación de 1,5 L ha^{-1} de glifosato debe ser hecha tres semanas antes del muestreo, para matar raíces contaminantes de Axonopus compressus. La tinción diferencial permite la identificación de raíces contaminantes y puede ser apoyado por diferencias morfológicas de las raíces. El método intersección lineal tiene un nivel satisfactorio de precisión y un mínimo de sobrestimación (6%).

CAPITULO II

LONGITUD RADICULAR DE TRES LEGUMINOSAS FORRAJERAS A DIFERENTES EDADES Y BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE RESISTENCIA A LA PENETRACION

INTRODUCCION

Uno de los componentes de la degradación de pasturas en el Trópico Húmedo es el deterioro de las propiedades físicas y químicas del suelo. Cuando la pastura no está bien establecida y el manejo posterior es malo, lo común es que la fertilidad del suelo disminuya en forma acelerada debido a un reciclaje ineficiente de nutrientes. Paralelamente, el sobrepastoreo afecta las propiedades físicas del suelo a través de la reducción de la porosidad aérea y el aumento de la densidad aparente. La continuidad del sobrepastoreo evita la capacidad del suelo de regenerar espontáneamente sus propiedades físicas y químicas.

Una de las estrategias de la recuperación de pasturas es disminuir la resistencia a la penetración de las raíces y aumentar los niveles de nutrientes del suelo. En ausencia de maquinaria y fertilizantes pueden usarse alternativas como el descanso, el descanso con quema, o el descanso con quema más la siembra de leguminosas con sistemas radiculares vigorosos (CIAT, 1991).

Hipotéticamente, el establecimiento de leguminosas con sistemas radiculares vigorosos sin mecanización previa, en pasturas degradadas, disminuye la resistencia a la penetración y aumenta los niveles de nutrientes del suelo. La resistencia

a la penetración es reducida por un mejoramiento de la estructura como consecuencia de un profuso desarrollo radicular. Los niveles de nutrientes son restituídos a través del reciclaje de nutrientes por decomposición de hojarasca, raíces y nódulos. Esta capacidad de las leguminosas de regenerar el suelo debe variar entre especies y con las caracteríscas del suelo.

La evaluación del desarrollo radicular de especies leguminosas forrajeras en diferentes condiciones físicas del suelo, naturales o alteradas, ayuda a predecir el potencial que tienen estas especies para regenerar las características físicas y químicas del suelo. Para ello debe contarse con una metodología adecuada para evaluar la distribución radicular que sea capaz de detectar efectos de especies, épocas y resistencia a la penetración.

Con estos criterios en mente se evaluó la longitud radicular de tres leguminosas a diferentes edades y en condiciones variadas de resistencia a la penetración y de fertilización del suelo mediante el método de intersección lineal desarrollado en el Capítulo 1.

REVISION DE LITERATURA

Uno de los problemas de las pasturas en la Amazonia es, frecuentemente, su pobre estabilidad y persistencia. Esto implica que deben mejorarse ciertos atributos de las especies forrajeras tales como un desarrollo radicular profuso y extenso, además de un manejo adecuado de la pastura. Sanchez y Salinas (1981) afirman que uno de los componentes principales de la tecnología de bajos insumos sería el manejo de la acidez del suelo con insumos mínimos con énfasis en la promoción de un desarrollo radicular profundo.

En la Amazonia más del 90% de las pasturas se encuentran en proceso de degradación (Schaus, 1987). En la recuperación de pasturas degradadas, las leguminosas deben cumplir un rol importante como recuperadoras del suelo al incorporar N atmosférico por fijación simbiótica, con tendencia a disminuir o eliminar la fertilización de este nutriente. Posteriormente las leguminosas son fuente valiosa de proteínas para el ganado. En consecuencia, debe promocionarse la recuperación de pasturas degradadas con la siembra de leguminosas forrajeras que tengan un desarrollo radicular vigoroso y profundo.

Alargamiento Radicular en diferentes condiciones de fertilidad del suelo

Las condiciones adversas del suelo ya sean físicas o químicas restringen el alargamiento radicular de las plantas forrajeras. Por ejemplo, Joost y Hoveland (1986) reportaron efectos adversos de la acidez del suelo, en un suelo no

encalado las raíces de alfalfa redujeron su alargamiento en 69%. Efectos similares han sido reportados para leguminosas forrajeras tropicales (Ogata et al., 1986) y para algunas leguminosas y gramíneas forrajeras de clima templado (Shoop et al., 1961). Carter y Summer (1988) encontraron que cuando un subsuelo ácido fue encalado con dolomita se obtuvo un mayor crecimiento radicular y rendimiento en alfalfa asi como una mayor capacidad de absorción de agua.

Los subsuelos ácidos e infértiles de Oxisoles y Ultisoles actúan frecuentemente como una barrera química para el alargamiento radicular debido a su alta saturación de Al y a su bajo contenido de Ca intercambiable (Sánchez y Salinas, 1981; Sánchez y Bandy, 1982; Salinas et al., 1982). Altos niveles de saturación de Al reducen el crecimiento y afectan severamente los rendimientos (Salinas, 1978). Ayarza y Salinas (1982) encontraron que la toxicidad de Al causó una disminución del crecimiento radicular de especies de Stylosanthes como resultado de la acumulación de Al en las zonas de crecimiento. Por otra parte, la toxicidad de Al ocasiona una disminución de los sitios de absorción de agua y nutrimentos, al inhibir la división celular. Posteriormente, el Al bloquea el movimiento de nutrimentos tales como P, Ca, Mg, hacia la parte aérea de la planta, haciendo que los síntomas de deficiencia de estos elementos se manifiesten en las hojas como un efecto secundario (Salinas et al.,1982). Consecuentemente, altas concentraciones de Al pueden matar a la planta (CIAT, 1985).

Se ha indicado que las raíces de leguminosas con una capacidad de profundización tienden a ser menos suceptibles a las deficiencias de potasio (Ozanne et al.,1965) o de azufre (Barley, 1970).

Alargamiento Radicular en Relación a las Propiedades Físicas del Suelo

La compactación del suelo se produce cuando la porosidad aérea del suelo se reduce por aplicación de un esfuerzo mecánico. En el caso de pasturas puede ser producido por el pisoteo del ganado. La compactación influye en otras propiedades físicas tales como infiltración, densidad aparente, contenido de humedad, transporte de iones y agua a través del suelo, e impedancia mecánica. Todos estos efectos distorsionan el patrón de crecimiento radicular simultáneamente.

Cuando la porosidad aérea del suelo es buena, las raíces desarrollan normalmente debido a que encuentran poros con diámetros suficientemente grandes como para crecer a través de ellos. Sin embargo, cuando la distribución y tamaño de los poros es reducido puede causar una mayor resistencia al crecimiento radicular. Cuando sucede ésto las raíces pueden penetrar los horizontes deformando el suelo. El suelo resiste a la deformación y si esta resistencia es crítica, las raíces sufren un estrés mecánico por la acción del suelo a la fuerza que ejerce el órgano de la planta. Esta propiedad física se denomina resistencia a la penetración, resistencia mecánica o

impedancia mecánica (IM) y es definida por Barley y Greacen (1967) como la reacción del suelo a fuerzas ejercidas por el crecimiento de la planta. La IM es experimentado por las raíces y por la emergencia de las plántulas de costras duras de suelo.

Las raíces ejercen una presión para vencer la IM del suelo. Champion y Barley (1969) encontraron que el crecimiento de los pelos radiculares son capaces de deformar moderadamente la resistencia de las arcillas.

Mediciones de la Impedancia Mecánica (IM) para el Alargamiento Radicular

Existen diferentes dispositivos que permiten predecir el posible efecto de la IM del suelo sobre el crecimiento radicular, entre ellos el penetrómetro.

Operativamente, el penetrómetro mide la resistencia del suelo a la penetración de un cono. Se considera que el penetrómetro mide la resistencia mecánica in situ. Hay dos tipos principales de penetrómetros: el de impacto y el estático. El penetrómetro de impacto mide el número de caídas de un martillo de cierto peso a cierta distancia para introducir el cono hasta una profundidad determinada del suelo, con lo que puede calcularse la energía gastada en esta operación. El penetrómetro estático mide la fuerza o la fuerza por unidad de área seccional (esfuerzo) necesaria para introducir un cono lentamente hasta una cierta profundidad en el suelo (Forsythe, 1975).

Los datos de IM obtenida por penetrómetros y las medidas de densidad aparente son valores empíricos de los cuales se infiere las restricciones a la penetración radicular.

Alargamiento Radicular en diferentes condiciones de IM del Suelo

La IM del suelo tiene un efecto directo en el sistema radicular. Shierlaw y Alston (1984) encontraron que una densidad aparente del suelo igual o mayor que 1.55 g cm^{-3} restringió la LR de algunas gramíneas forrajeras, la IM a esta densidad (con potencial matricial de -20 kPa) fue de 1.25 MPa (Mega-Pascal). Phillips y Kirkham (1962) reportaron que la compactación del suelo redujo marcadamente el crecimiento y el rendimiento de maíz. En este estudio la IM, medida como densidad aparente y penetración de una penetrómetro acicular, fue la propiedad física con mayor correlación con la reducción en el crecimiento y rendimiento a dos niveles de fertilización ($p<0.001$), en un suelo arcilloso. Así mismo Linscott et al. (1962) indicaron que el restringido desarrollo radicular de maíz fue asociado con una alta densidad aparente y con la baja disponibilidad de nutrientes del suelo. Zimmerman, citado por Meredith y Patrick (1961), en un estudio de crecimiento radicular de pasto sudán y soya en suelos compactados artificialmente, encontró una correlación negativa significativa entre densidad aparente y masa radicular para 8 de 14 tratamientos.

Valores críticos de IM en Relación al Crecimiento Radicular

Hay suelos deformables de baja "resistencia" donde el estrés necesario para deformar el suelo puede ser tan pequeña que, indistintamente del tamaño de los poros, la penetración radicular puede ocurrir. Sin embargo en condiciones de campo con suelos de moderada a alta resistencia, la magnitud de las fuerzas que resisten al alargamiento radicular puede ser tan grande que el desarrollo de las raíces puede ser restringida completamente. Por lo tanto existen valores críticos de IM para el crecimiento de las raíces, lo cual debe variar entre especies y suelos determinados.

En un experimento artificial, una presión de 0.02 MPa a un sistema de glóbulos de vidrio redujo la tasa de alargamiento radicular de cebada (Hordeum vulgare) por 50%, y una presión de 0.05 MPa redujo la tasa por 80% (Russell y Goss, 1974).

Valores de IM iguales o mayores que determinados niveles críticos detienen el desarrollo radicular. Estos niveles críticos pueden variar de 2.5 MPa a 3.0 MPa para especies de Phaseolus aureus, Vigna sinensis y Soghum vulgare (Taylor y Burnett, 1964). Asi mismo Hemsath y Mazurak (1974) reportan que en una mezcla de arena-arcilla la resistencia al penetrómetro de 1.96 MPa o más fue crítica para las raíces de sorgo (Sorghum bicolor). En un suelo laterítico de textura franco-arenosa una presión de penetración de 7.05 MPa impidió la penetración radicular y el crecimiento de arroz (Kar y Varade, 1972).

En la mayoría de los casos las interrelaciones entre el alargamiento radicular y las propiedades químicas y especialmente físicas del suelo han sido estudiadas en condiciones de laboratorio o invernadero. A pesar de los estudios existentes, se necesita mayor información acerca de las propiedades del suelo sobre el crecimiento radicular en condiciones de campo.

MATERIALES Y METODOS

Localización del Estudio

La fase de campo de este estudio se realizó en el fundo "El Arriero", a 20.5 km de la ciudad de Pucallpa, Región Ucayali, a $8^{0}22'$ S, $74^{0}34'$ O. La fase de laboratorio se realizó en el laboratorio del convenio INIAA-IVITA-CIAT. La duración del estudio fue de junio de 1990 hasta setiembre de 1991.

Condiciones climáticas y edáficas

La región corresponde al ecosistema de bosque tropical semi-siempreverde estacional (CIAT, 1991). La temperatura promedio anual es de 25 ^{0}C y la humedad relativa promedio es 77%. La precipitación total anual es de 1700 mm a 20 km del estudio. La distribución de lluvias es bimodal con dos épocas menos lluviosas una de junio a setiembre y otro en diciembre (Riesco et al.,1982).

Los suelos que predominan en la región son Ultisoles e Inceptisoles. Los primeros con problemas de saturación de Al,

deficiencia de nutrientes, acidez (pH<4.5), con dos grupos distintos, uno bien drenado clasificado como Typic Paleudult y el otro pobremente drenado clasificado como Aquic Paleudult (NCSU, 1973). Las propiedades del suelo tomadas en un fundo adyacente al área experimental se muestra en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Propiedades del suelo adyacente al área experimental. Profundidad 0-20 cm.

Arena	Arcilla	pH	MO	P	Cambiables					Sat
					Al	K	Ca	Mg	Na	Al
----- % -----			%	ppm	------- me/100 g ------					%
44	12	4.8	2.7	4.4	2.2	0.2	2.8	0.8	0.18	35

Desarrollo del Experimento

El área experimental fue una pastura nativa (torourco) con predominancia de A. compressus con más de 15 años de pastoreo.

Tratamientos en estudio

El proyecto de Recuperación de Pasturas en Trópico Húmedo del convenio INIAA-IVTA-CIAT estableció en los primeros meses de 1990 un conjunto de experimentos, los cuales evaluarían diversos tratamientos y especies de leguminosas forrajeras. De estos ensayos se seleccionaron 36 parcelas generadas por una combinación de tres leguminosas: S. guianensis cv. Pucallpa, C. macrocarpum CIAT 15102, y A. pintoi CIAT 17437, y tres tratamientos: (i) sin arar- sin fertilizar, (ii) sin arar-fertilizado y, (iii) arado-fertilizado.

La siembra de leguminosas se realizó en abril de 1990, a chorro contínuo y a 100 cm entre hileras. La fertilización fue en bandas con 40, 20, 20, y 20 kg ha^{-1} de P, K, Mg, y S, respectivamente. El arado consistió en dos pases paralelos de una rastra pesada de discos.

Variables de Respuesta

Longitud Radicular

En cada parcela se delimitó un zona de muestreo consistente en una hilera simple. Cada hilera tuvo 100 cm de longitud. Eran las más uniformes en número y tamaño de plantas. Las zonas de muestreo se fijaron permanentemente mediante la imposición de banderines. El punto de muestreo fue a 10 cm de la hilera. Tres semanas antes del muestreo de los cilindros de suelo se realizó una aplición localizada de 1,5 L ha^{-1} de gliphosato (Round-up) para matar raíces de especies contaminantes (A. compressus). Los cilindros de suelo se extrajeron en incrementos de 5 cm hasta los 10 cm, y de 10 cm hasta 90-100 cm de profundidad. En estos cilindros se midieron la LR de acuerdo a la secuencia metodológica desarrollada en el Capítulo I. Los muestreos se realizaron en tres fechas: 180, 240, y 300 días después de la siembra.

Impedancia Mecánica (IM)

Se fijó un transecto permanente de 1 m de longitud entre dos hileras de plantas señaladas con banderines en cada parcela y perpendicular a ellas. La IM fue medida a 10 cm de la hilera con un penetrómetro de registro contínuo que grafica

en una banda la resistencia del suelo. La IM fue medida a profundidades de 10, 20, 30, 40, y 50 cm en un punto adyacente a donde se tomaron las muestras para LR. Todas las mediciones se completaron en un día y en las mismas fechas de evaluación de la LR.

Análisis Estadístico

Para la estimación de efectos de especies y tratamientos se acomodó el material experimental en forma irrestricta (diseño Completamente al Azar). Los análisis estadísticos se procesaron utilizando el procedimiento Modelo Lineal Generalizado (GLM) del SAS (1985).

RESULTADOS Y DISCUCION

Longitud Radicular

Las figuras 3, 4, y 5 muestran la distribución radicular de S. guianensis, C. macrocarpum, y A. pintoi en el perfil del suelo. La LR se concentra principalmente en los primeros 20 cm del suelo y disminuye progresivamente con la profundidad, sin embargo la máxima LR parece hallarse a los 10 cm. Como se esperaba, la LR incrementó conforme transcurrió el tiempo, siendo mayor a los 300 días. En general, el patrón de distribución radicular fue similar en las tres especies. Sin embargo, la especie que tuvo menor LR fue A. pintoi.

No hubo interacción entre tratamientos x especies en la LR, de manera que solo se discuten los efectos principales de tratamientos y especies (Cuadro 3).

En términos generales, los tratamientos afectaron la LR (en promedio de profundidades) sólo marginalmente a los 180 días ($p<0.066$) pero significativamente a los 240 y 300 días ($p<0.011$ y $p<0.0001$, respectivamente). Los tratamientos individuales que más nos interesa comparar son sin arar-sin fertilización vs. sin arar-fertilizado el cual expresa el efecto de la fertilización, y sin arar-fertilizado vs. arado-fertilizado el cual nos expresa el efecto del arado. Asi, en términos de Rangos Múltiples de Duncan (RMD) al 5% (Cuadro 3), el arado afectó la LR solamente a los 300 días. Por otro lado la fertilización incrementó la LR de las tres especies en promedio a los 240 y 300 días. A pesar de lo esperado, la

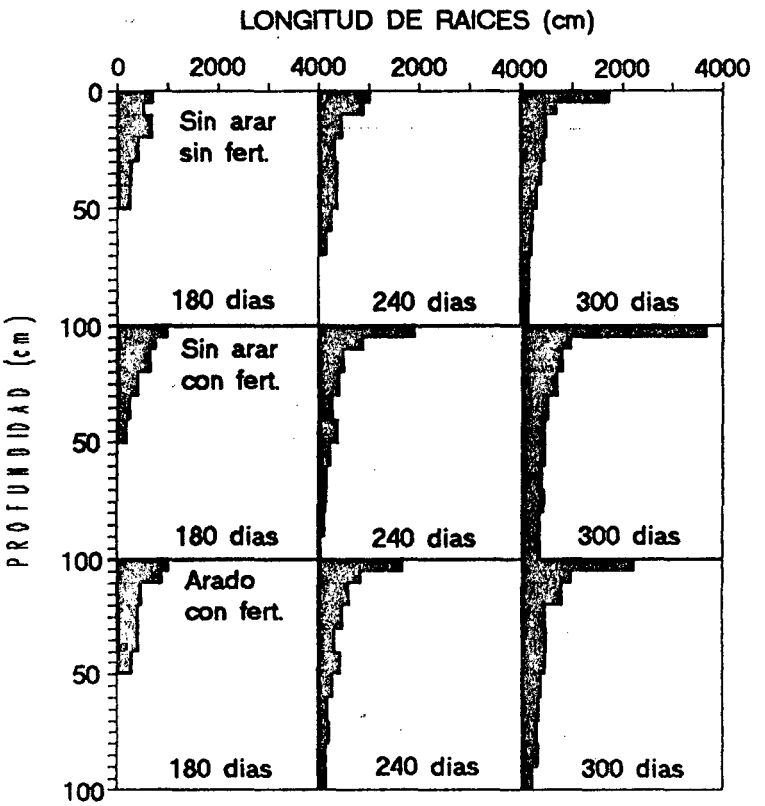


Fig. 3. Distribucion de la longitud de raices de Stylosanthes guianensis cv. Pucallpa, a diferentes profundidades del suelo y a diferentes periodos despues de la siembra para 3 tratamientos: sin arar, sin fertilizar; sin arar, fertilizado; y arado, fertilizado. Promedio de cuatro repeticiones

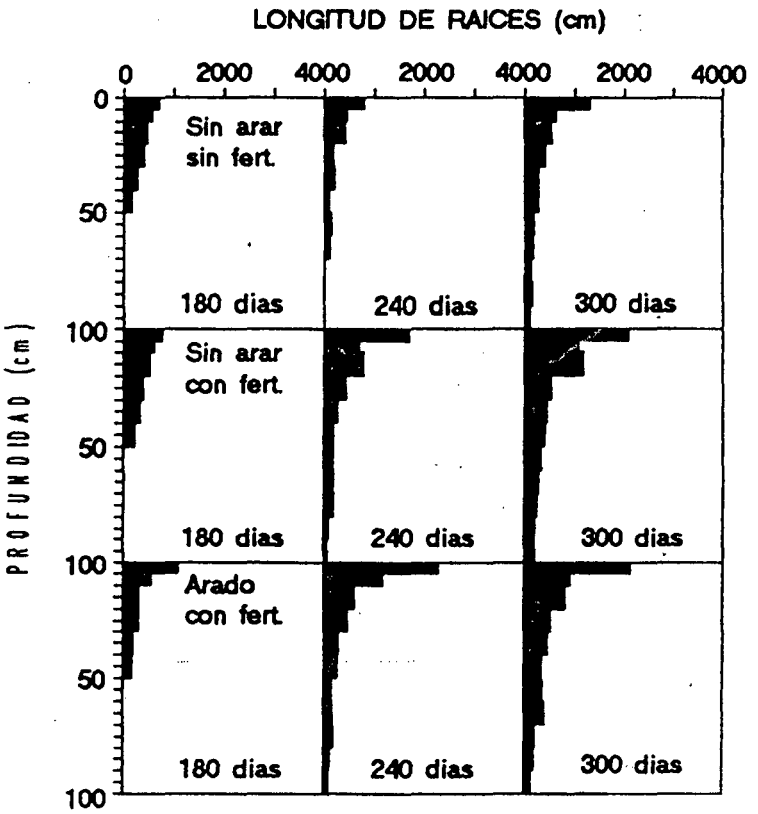


Fig. 4. Distribucion de la longitud de raices de Centrosema macrocarpum a diferentes profundidades del suelo y a diferentes periodos despues de la siembra de tres tratamientos: sin arar, sin fertilizar; sin arar, fertilizado; y arado, fertilizado. Promedio de cuatro repeticiones.

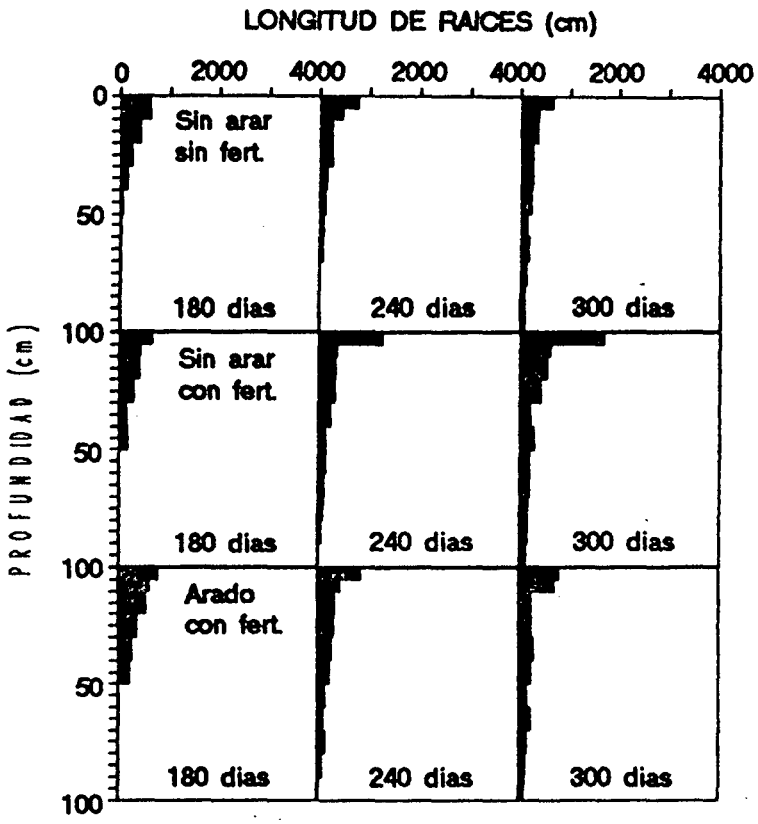


Fig. 5. Distribucion de la longitud de raices de Arachis pintoi a diferentes profundidades del suelo y a diferentes periodos despues de la siembra en tres tratamientos: sin arar, sin fertilizar; sin arar, fertilizado; y arado, fertilizado. Promedio de cuatro repeticiones.

reducción de la impedania mecánica (IM) por el arado no pareció ser crítica para el alargamiento radicular de S. guianensis, C. macrocarpum, y A. pintoi; por lo menos a los valores de IM obtenidos en este experimento. Mielniczuk et al. (1984) al medir la penetración en suelos compactados de las raíces de tres leguminosas forrajeras (Medicago sativa, Desmodium sp., y Macroptilium atropurpureum) demostraron que los suelos compactados no limitan el crecimiento radicular de estas especies, aunque M. sativa presentó algunas raíces bifurcadas.

Cuadro 3. Análisis de Varianza de la longitud radicular y prueba de Rangos Multiples de Duncan (RMD) para los tratamientos 1: sin arar-sin fertilizar, 2: sin arar-fertilizado, y 3: arado-fertilizado; y para las especies 1: Stylosanthes guianensis, 2: Centrosema macrocarpum, y 3: Arachis pintoi a los 180, 240, y 300 días después de la siembra. Pucallpa, Perú.

FV	GL	Pr > F	RMD	
			Trat	Especies
		---------- 180 días----------		
Tratamientos	2	0.066	3a	1a
Especies	2	0.011	2ab	2b
Trat*Especies	4	0.583	1b	3b
		---------- 240 días----------		
Tratamientos	2	0.011	3b	1a
Especies	2	0.003	2a	2a
Trat*Especies	4	0.339	1b	3b
		---------- 300 días----------		
Tratamientos	2	0.0001	3a	1a
Especies	2	0.0001	2b	2a
Trat*Especies	4	0.244	1c	3b

Promedios de tratamientos y especies seguidos de una misma letra no son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$).

Un factor a tenerse en cuenta es que los periodos de evaluación para ver los efectos de los tratamientos son muy distantes del momento de la aplicación de tales tratamientos. Esto puede dificultar la interpretación. Tal vez los efectos serían diferentes si se evaluaría desde los 30 días.

El análisis de varianza muestra que la longitud radicular varió significativamente entre las especies S. guianensis, C. macrocarpum, y A. pintoi a los 180, 240, y 300 días después de la siembra ($p<0.001$, $p<0.003$, y $p<0.0001$, respectivamente) (Cuadro 3). En términos de Rangos Múltiples de Duncan (RMD) al 5% la especie S. guianensis tuvo mayor LR que C. macrocarpum y A. pintoi a los 180 días. Estas dos últimas no presentaron diferencia. A los 240 y 300 días S. guianensis y C. macrocarpum no presentaron diferencia estadística en LR, pero fueron marcadamente superiores a A. pintoi (Cuadro 3).

Impedancia Mecánica

Los perfiles de IM de los tratamientos promedio de sin arar-sin fertilizar y sin arar-fertilizado se compararon con el tratamiento arado-fertilizado con la finalidad de expresar las diferencias debida al arado (Figs. 6, 7, y 8). Los perfiles para diferentes profundidades muestran que a los 180 días en las parcelas sin arar existen mayores valores de IM entre los 5 y 10 cm y también a los 40 y 50 cm. Los valores máximos a los 5 y 10 cm se deben al efecto compactante del pisoteo de ganado (CIAT, 1991). Toledo y Serrao (1987), por otro lado, encontraron que el pisoteo del ganado favoreció la

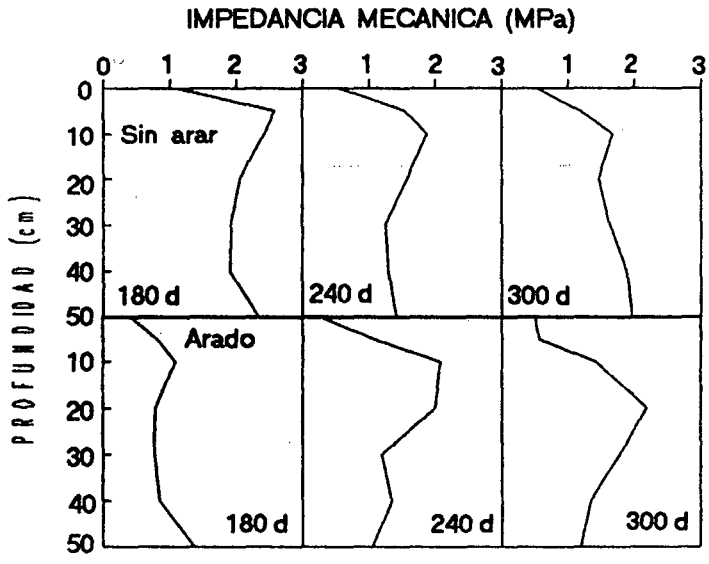


Fig. 6. Distribucion de la impedancia mecanica del suelo en parcelas de Stylosanthes guianensis cv. Pucallpa, a diferentes profundidades y a diferentes periodos despues de la siembra para tratamientos arados y sin arar. Promedio de 8 repeticiones para sin arar y de 4 repeticiones para arado.

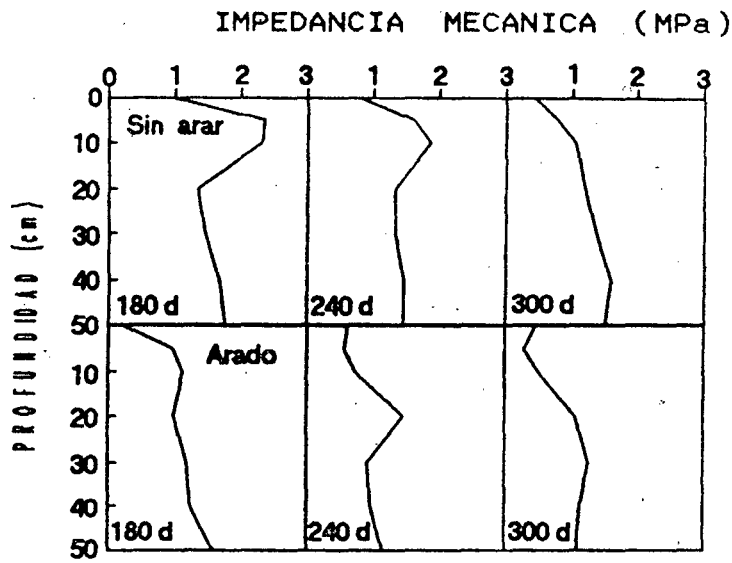


Fig.7 . Distribucion de la impedancia mecanica del suelo en parcelas de Centrosema macrocarpum, a diferentes profundidades y a diferentes periodos despues de la siembra para tratamientos arados y sin arar. Promedio de 8 repeticiones para sin arar y de 4 repeticiomes para arado.

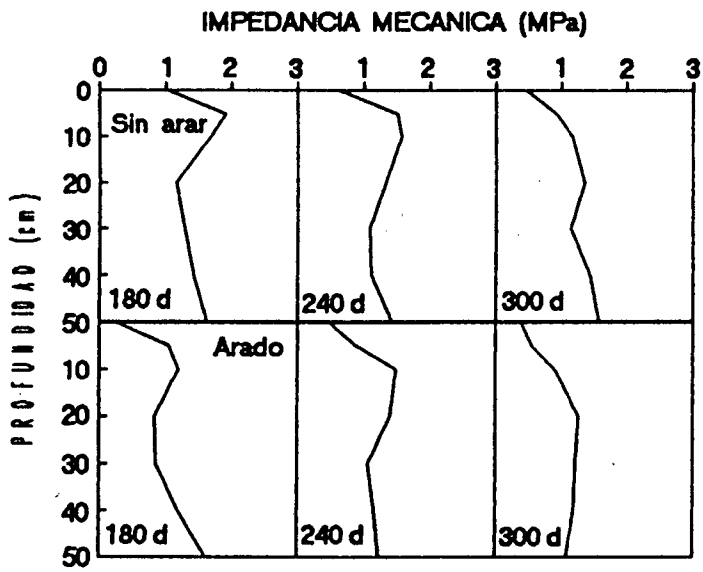


Fig. 8. Distribucion de la impedancia mecanica del suelo en parcelas de Arachis pintoi, a diferentes profundidades y a diferentes periodos despues de la siembra para tratamientos arado y sin arar. Promedio de 8 repeticiones para sin arar y de 4 repeticiones para arado.

compactación superficial del suelo (0-20 cm) en Yurimaguas y que el efecto fue mayor en pasturas nativas que en pasturas mejoradas. Los máximos valores de IM a los 40 y 50 cm se deben posiblemente a la presencia del horizonte Argillico (B22t) típico de los Ultisoles (CIAT, 1991).

El análisis de varianza (Cuadro 4) indica que no hubo diferencia estadística entre las especies S. guianensis, C. macrocarpum, y A. pintoi, tampoco en la interacción tratamiento por especie, durante las tres fechas de evaluación. La prueba de F no fue significativo por lo tanto no se discute la prueba de RMD para comparar la respuesta de especies.

Cuadro 4. Análisis de varianza y prueba de Rangos Múltiples de Duncan (RMD) de la impedancia mecánica para 1: sin arar-sin fertilizar, 2: sin arar-fertilizado, y 3: arado-fertilizado; y las especies 1: Stylosanthes guianensis, 2: Centrosema macrocarpum, y 3: Arachis pintoi a los 180, 240, y 300 días después de la siembra. Pucallpa, Perú.

FV	GL	Pr > F	RMD (Especies)
		----------	180 días---------
Tratamientos	2	0.0001	1a
Arado	1	0.0001	2a
Especies	2	0.127	3a
Trat*Especies	4	0.199	
		----------	240 días---------
Tratamientos	2	0.032	1a
Especies	2	0.342	2a
Trat*Especies	4	0.709	3a
		----------	300 días---------
Tratamientos	2	0.159	1a
Arado	1	0.097	3ab
Especies	2	0.051	2b
Trat*Especies	4	0.886	

Promedio de especies seguidos de una misma letra en la misma columna no son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$).

En general, los tratamientos afectaron la impedancia mecánica a los 180 días ($p<0.0001$), y a los 240 días después de la siembra ($p<0.032$) (Cuadro 4). A los 300 días el efecto pareció haberse perdido. El efecto particular del arado en la IM se midió mediante un contraste de promedio de sin arar-sin fertilizar y sin arar-fertilizado vs. arado-fertilizado. Este efecto fue estadísticamente significativo a los 180 días ($p<0.0001$) y marginalmente a los 300 días ($p<0.097$). A los 240 días el contraste no pudo estimarse por el número de parcelas perdidas pero con toda probabilidad el efecto fue significativo ya que el efecto general de tratamientos también lo fue ($p<0.032$).

No disponemos de criterios de diagnóstico para los valores de IM encontrados y para nuestras especies. Estos IM a partir de los 0 a 10 cm para el tratamiento sin arado parecen ser marginales (hasta 2.58 MPa). Ellos son superiores a valores de IM que restringen el crecimiento radicular de maiz en suelos arcillosos (0.8 MPa) o en suelos francos (1.2 MPa) de otras latitudes (CIAT, 1991). Si estos valores de IM son críticos y restringen el desarrollo radicular en maiz, no parecen serlo para S. guianensis, C. macrocarpum, y A. pintoi a 180 y 240 días después de la siembra. Estos resultados sugieren que las raíces de estas especies son capaces de crecer normalmente aún a valores de IM superiores a 2 MPa. Sin embargo, Taylor y Burnett (1964) encontraron que niveles de IM de 2.5 a 3.0 MPa fueron críticos para el desarrollo

radicular de Phaseolus aureus, Vigna sinensis, y Sorghum vulgare.

El mismo patrón de distribución de IM se presentó en las parcelas de las tres especies, pero los valores muestran gran variabilidad. Los valores de IM cambiaron con el tiempo, a los 240 y 300 días (Figs. 6, 7, y 8) hay menores valores de IM, esto se debe probablemente a un mejoramiento de la estructura del suelo como efecto del desarrollo radicular de las leguminosas.

CONCLUSIONES

Bajo las condiciones de este experimento los resultados mostraron que: (1) El arado no tuvo efecto en la longitud radicular (LR) de S. guianensis cv. Pucallpa, C. macrocarpum, y A. pintoi a los 180 y 240 días después de la siembra. (2) La fertilización afectó la LR de S. guianensis cv. Pucallpa, C. macrocarpum, y A. pintoi a los 240 y 300 días después de la siembra. (3) El arado disminuyó la impedancia mecánica (IM) en el horizonte superficial del suelo, a los 180 días después de la siembra, pero no pareció favorecer la LR de las tres leguminosas. (4) Las raíces de S. guianensis cv. Pucallpa, C. macrocarpum, y A. pintoi desarrollaron normalmente hasta valores de IM de 2.58 MPa. (5) Leguminosas forrajeras tales como S. guianensis cv. Pucallpa y C. macrocarpum no presentan diferencias entre sí en su LR en condiciones edáficas semejantes. Sin embargo, estas especies tienen mayor LR que A. pintoi .

RESUMEN

En suelo ácido de Pucallpa, región de la Amazonía Peruana ($8^0$22" S y $74^0$34' O, 1700 mm de precipitación anual y a 25 ^{0}C), cubierto con pasto natural de Axonopus compressus, se realizó un experimento para evaluar la longitud radicular (LR) de tres leguminosas forrajeras en condiciones variadas de impedancia mecánica (IM) y de fertilización del suelo.

El experimento se acomodó en un diseño completamente aleatorizado con cuatro repeticiones, generado por una combinación de tres leguminosas: Stylosanthes guianensis cv. Pucallpa, Centrosema macrocarpum, y Arachis pintoi, y tres tratamientos: (i) sin arar-sin fertilizar, (ii) sin arar-fertilizado, (iii) arado-fertilizado. El arado consistió en dos pases de una rastra pesada de discos. La fertilización fue en bandas con 40, 20, 20, y 20 kg ha^{-1} de P, K, Mg, y S, respectivamente. La siembra fue à chorro contínuo en abril de 1990 y a 1 m entre hileras. La LR de las leguminosas fueron estimadas por el método de intersección lineal, y la IM de las parcelas se midieron con un penetrómetro de registro contínuo; a los 180, 240, y 300 días después de la siembra. Se encontró que el arado no tuvo efecto en la LR de las tres leguminosas a los 180 y 240 días después de la siembra. La fertilización afectó la LR de las tres leguminosas a los 240 y 300 días después de la siembra. El arado disminuyó la IM en el horizonte superficial, pero no pareció favorecer la LR de las tres leguminosas. Las leguminosas S. guianensis, C. macrocarpum, y A. pintoi no fueron restringidas en su desarrollo radicular hasta valores de IM de 2.58 MPa. S. guianensis y C. macrocarpum no presentaron diferencias entre sí en su LR, pero tuvieron mayor LR que A. pintoi, en condiciones edáficas semejantes.

BIBLIOGRAFIA

Ayarza, M.A., y J.G. Salinas. 1982. Estudio comparativo de la tolerancia al aluminio en tres leguminosas forrajeras. Suelos Ecuat. 12:110-126.

Barley, K.P. 1979. The configuration of the root system in relation to nutrient uptake. Adv. Agron. 22:159-201.

Barley, K.P., and E.L. Greacen. 1967. Mechanical resistance as a factor influencing the growth of roots and underground shoots. Adv. Agron. 19:1-42.

Bland, W.L. 1989. Estimating root length density by core-break method. Soil Sci. Soc. Am. J. 53:1595-1597.

Bohm, W. 1979. Methods of studying root systems. Springer-Verlag, New York.

Carter, E.A., and M.E. Summer. 1988. Influence of subsoil modification upon root growth of alfalfa and peaches in an acid subsoil. p.231. In Agronomy Abstracts, 1988 Annual Meetings. Nov 27 - Dec 2, 1988. Anaheim, California.

CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1991. Recuperación de Pasturas en Trópico Húmedo. p.14(1-25). Informe Anual 1990. Cali, Colombia.

---- (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1985. CIAT Report 1985. p.63. Cali, Colombia. 100p.

Cochrane, T.T. 1982. Características agroecológicas para el desarrollo de pasturas en suelos ácidos en América Tropical. p. 23-44. En J.M Toledo (ed.) Manual para la evaluación agronómica-Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT). CIAT, Cali, Col.

Champion, R.A., and K.P. Barley. 1969. Penetration of clay by root hairs. Soil Sci. 108:402-407.

Forsythe, W.1975. Física de Suelos-Manual de Laboratorio. IICA, San José. 212p.

Hemsath, D.L., and S.P. Mazurak. 1974. Seedlings growth of sorghum in clay-sand mixtures at various compactions water contents. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 38:387-390.

Joost, R.E., and C.S. Hoveland. 1986. Root development of sericea lespedeza and alfalfa in acid soils. Agron J. 78:711-714.

Kar, S., and S.B. Varade. 1972. Influence of mechanical impedance on rice seedling roots growth. Agron J. 64:80-81.

Kuruvadi, S. y T.F. Townley-Smith. 1986. Modelos de raíces en trigo macarronero en rizotrones. Turrialba, 36:473-478.

Lehrzeh, G.A., R.E. Sojka, D.L. Carter, and P.M. Jolley. 1991. Freezing effects on aggregate stability affected by texture, mineralogy, and organic matter. Soil Sci. Soc. Am. J. 55:1401-1406.

Linscott, D.L., R.L. Fox, and R.C. Lips. 1962. Corn root distribution and moisture extraction in relation to nitrogen fertilization and soil properties. Agron. J. 54:185-189.

Marsh, B. 1971. Measurement of length in random arrangement of lines. J. App. Ecol. 8:265-267.

Melhuish, F.M, and A.R.G. Lang. 1968. Quantitative studies of roots in soil. I. Length and diameters of cotton roots on a clay-loam soil by analysis of surface-ground blocks of resin-impregnated soil. Soil Sci. 106:16-22.

Melhuish, F.M, and A.R.G. Lang. 1971. Quantitative studies of roots in soil. II. Analysis of non-random populations. Soil Sci. 112:161-166.

Mengel, D.B., and S.A. Barber. 1974. Development and distribution of the corn root system under field conditions. Agron. J. 53:341-344.

Meredith, H.L., and W.H. Patrick. 1961. Effects of soil compaction on subsoil root penetration and physical properties of three soils in Louisiana. Agron. J. 53:163-167.

Mielniczuk, J., V. Carpenedo, A. Dalla Rosa. 1984. Alfalfa, desmodium e siratro na recuperacao do solos. Lavoira Arrozeira 37(354):16-17.

NCSU (North Carolina State University). 1973. Soil characterization studies, Regional Studies. p. 44-46. In Agronomic-Economic Research on Tropical Soils. Annual Report for 1973. Soil Science Department. NCSU, Raleigh, N.C.

Newman, E.J. 1966. A method of estimating the total length of root in a sample. J. Appl. Ecol. 3:139-145

Ogata, S., K. Fujita, and M. Koroshima. 1986. Effect of Al concentration in culture solution on the growth and N_2 fixation of some tropical legumes. Soil Sci. Plant Nutr. 32:27-35.

Ozanne, P.G., C.J. Asher, and D.J. Kirton. 1965. Root distribution in a deep sand and its relationship to the uptake of added potassium by pasture plants. Aust. J. Agric. Res.
16:785-800.

Phillips, R.E., and D. Kirkham. 1962. Soil compaction in the field and corn growth. Agron. J. 54:29-34.

Reicosky, D.C., R.J. Millington, and D.B. Peters. 1970. A comparison of three methods for estimating root length. Agron. J. 62:451-453.

Riesco, A., M. de la Torre, C. Reyes, G. Meini, H. Huamán, y M. García.1982. Análisis exploratorio del los sistemas de fundos de pequeñosagricultores en la Amazonía, Región de Pucallpa. Convenio IVITA-CIID, Perú,46 p.

Russell, R.J, and M.J. Goss. 1974. Physical aspects of soil fertility-The response of roots to mechanical impedance. Neth. J. Agric. Sci. 22:305-308.

Salinas, J.G. 1978. Diferential response of some cereal and bean cultivars to Al an P stress in an Oxisol of Central Brazil. Ph.D. Thesis. North Carolina State University, Soil Sci. Dept., Raleigh, N.C. 326 p.

Salinas, J.G., J.I. Sanz, R. García. 1982. Síntomas foliares de deficiencia y toxicidades minerales en pastos tropicales. p.73-81. En J.M. Toledo (ed.). Manual para la Evaluación Agronómica-RIEPT. CIAT, Cali, Colombia.

Sanchez, P.A., y D.E. Bandy. 1982. Suelos de la Amazoníay su manejo para la produccióncontínuade cultivos. INIPA-NCSU. EstaciónExperimental de Yurimaguas. Programa de Suelos Tropicales. Serie de separatas 1.

Sanchez, P.A., and J.G. Salinas. 1981. Low-input technology for managing Oxisols and Ultisols of Tropical America. Adv. Agron. 34:279-406.

SAS Istitute. 1985. SAS user's guide: Statistic. Ver. 5 ed. SAS Inst., Cary, N.C.

Schaus, R. 1987. Importancia de la ganadería,rol y organización de la investigación en pasturas de la Amazonía Peruana. En C.V. Durand et al. (ed.) Curso-taller sobre Establecimiento, Mantenimiento y Producción de Pasturas en la Selva Peruana. CIAT, Cali, Col.

Schuurman, J.J., and M.A.J. Goedewaagen. 1971. Methods for the examination of root systems and roots. 2nd. ed. Centre for Agricultural Publishing and Documentation. Wageningen, The Netherlands.

Shierlaw, J., and A.M. Alston. 1984. Effects of soil compaction on root growth and uptake of phosphorus. Plant Soil 77:15-28.

Shoop, G.J., C.R. Brooks, R.E. Blaser, and G.H. Thomas. 1961. Diferential response of grasses and legumes to liming and phosphorus fertilizations. Agron. J. 53:111-115.

Steen, E. 1989. Root biomass in timothy and red clover leys estimated by soil coring and mesh bags. J. Agric. Sci. (Cambridge) 113:241-247.

Taylor, H.M., and E. Burnett. 1964. Influence of soil strength on the root growth habits of plants. Soil Sci. 98:174-180.

Tennant, D. 1975. A test of a modified line intersect method of estimating root length. J. Ecol. 63:995-1001.

Toledo, J.M., y E.A. Serrao. 1987. Informe de viaje a Yurimaguas, Perú. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia. 9 p. (Mimeografiado).

Ward, K.J., B. Klepper, R.W. Rickman, and R.R. Allmaras. 1978. Quantitative estimation of living wheat-root lengths in soil cores. Agron. J. 70:675-677.

Williams, T.E., and H.K. Baker. 1957. Studies on the root development of herbage plants. 1. Techniques of herbage root investigations. J. Brit. Grassd. Soc. 12:49-55.

ANEXO

Cuadro A1. Prueba de mortalidad (%) de raíces de Axonopus compressus a los 0, 3, 6, 9, 12, y 21 días (d) de aplicación de 1.5 L ha^{-1} de glifosato (Round-up). Promedio de dos repeticiones.

Prof.	0	3 d	6 d	9 d	12 d	21 d
cm			%			
0-5	42.8	38.2	64.4	77.3	82.3	88.3
5-10	35.4	49.3	62.2	76.7	84.0	86.8
10-20	39.9	66.9	57.2	69.6	79.0	81.4

Prof = profundiadad de muestreo de cilindros de suelo.

Cuadro 2A. Longitudes reales (LR) y longitudes estimadas (LE) de los hilos de algodón para tres dimensiones de cuadrícula: 1 x 1 , 2 x 2, y 3 x 3 cm. Promedio de 3 repeticiones para LE por el método de intersección lineal.

LR	LE		
	Cuad. 1 x 1	Cuad. 2 x 2	Cuad. 3 x 3
	cm		
25	25.8	26.3	27.3
50	51.0	50.7	53.5
75	74.7	77.0	80.7
100	105.7	107.7	106.7
150	157.3	157.3	156.0

Cuadro 3A. Regresiones de datos de LR (y) contra LE (x) de los hilos de algodón usando tres dimensiones de cuadrícula, asumiendo valor 0 para el intercepto.

Cuadrícula 1 x 1		
y=0.959052x	r^2= 0.9948	Error estd. de b=0.0088703
Cuadrícula 2 x 2		
y=0.950647x	r^2= 0.9939	Error estd. de b=0.009374
Cuadrícula 3 x 3		
y=0.9474x	r^2= 0.9935	Error estd. de b=0.009641

1165C

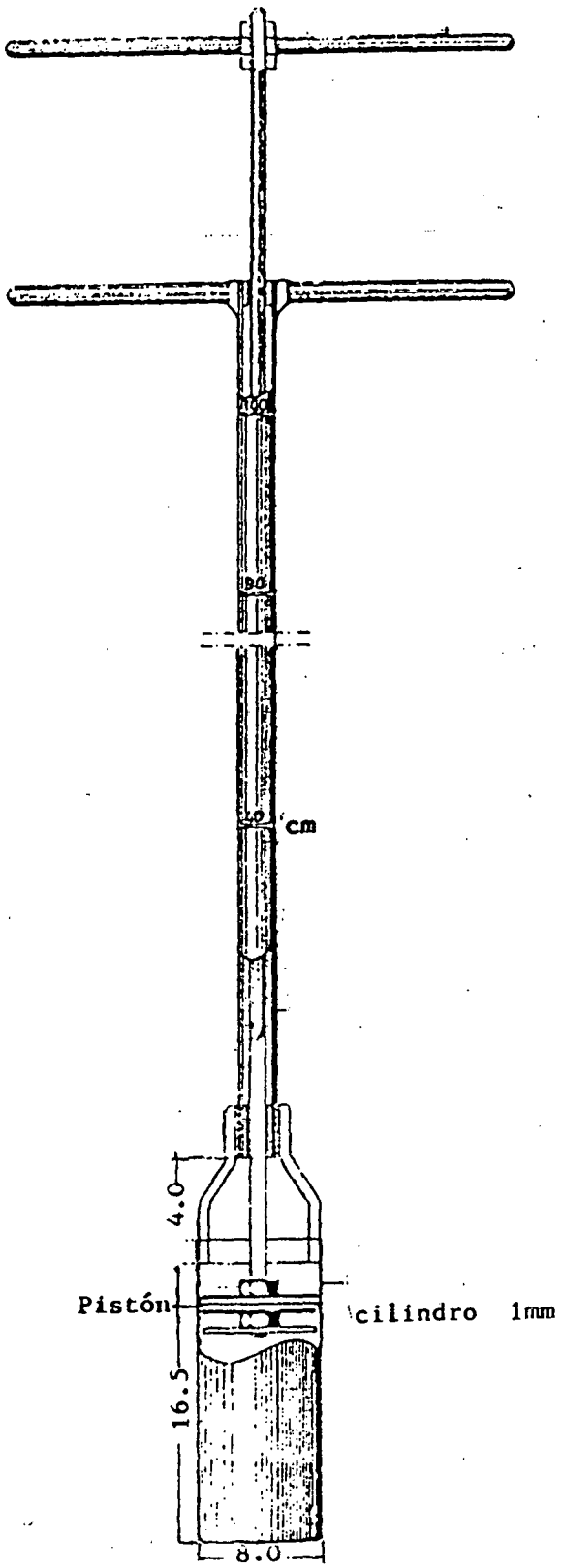


Fig. 1A Estructura y dimensiones del barreno muestreador de cilindro de suelo fabricado en Pucallpa.